

University of Groningen

Diffusion of a weakly ionized plasma in a magnetic field

Polman, Jan

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1966

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Polman, J. (1966). *Diffusion of a weakly ionized plasma in a magnetic field*. s.n.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

SUMMARY

This thesis describes a study of the classical and anomalous diffusion of a weakly ionized hydrogen plasma of a radio-frequency discharge at one end of a long discharge tube and its extension in the direction of the tube axis. A magnetic field is applied along this axis. The decrease of the plasma density along the field is described by introduction of a decay length, which is an analogue of the decay time in afterglow experiments. In our experiments the pressure of hydrogen was varied from 0.02 Torr to 0.07 Torr, the induction was lower than $25 \times 10^{-3} \text{ Wb m}^{-2}$.

In chapter 2 the classical collisional diffusion theory of the spatially decaying plasma is given for the steady state and for time dependent cases. The decay length is proportional to the square root of the ratio of the ambipolar diffusion coefficients along and across the magnetic field. Therefore the problem of the dependence of the transverse diffusion on the magnetic field can be studied by means of measurements of the axial decay length.

Chapter 3 discusses the effect of an axial temperature gradient on the plasma decay for a steady state plasma. It is shown that this effect can be neglected for relatively low ratios of the longitudinal and transversal diffusion coefficients.

The influence of the loss of charged particles by attachment and volume recombination on the decay length is treated in chapter 4. In our experimental conditions the effects can be neglected and diffusion of the charge carriers to the walls of the discharge tube and subsequent wall recombination are the main loss processes. Ionization of neutrals in the decay region may disturb the measurements. However, it is shown that the production of charged particles is much less than the loss by diffusion, if the electron temperature in the decay region is at least about one or two electronvolts lower than in the plasma source. The temperatures to be expected in the plasma are calculated from data on the ionization frequency of electrons in hydrogen, known in the literature.

Chapter 5 deals with instabilities of a weakly ionized inhomogeneous plasma in a magnetic field. It is shown that the drift dissipative as well as the ion acoustic instability may be present in the plasma source and in the decay region. An interesting feature of the axially decaying plasma is, that a helical instability of the plasma column may be

present at relatively high magnetic fields, analogous to the case of the positive column. A physical explanation of this instability is given. However, other instability mechanisms related to the transverse inhomogeneity of the plasma probably mask the occurrence of the helical disturbance. In the same chapter anomalous diffusion coefficients are estimated, assuming various types of instability.

The experimental arrangement and the construction of the plasma source are described in chapter 6. The pyrex discharge tube has a length of 2 m and a diameter of 0.05 m. The effect of a possible deviation from the "normal" radial plasma distribution in the source on the occurrence of higher order diffusion modes in the decay region is discussed.

In the next chapter a new method is described for the analysis of double probe characteristics. These are automatically recorded on punch tape and the data are fed into a Telefunken TR4 computer, which calculates both electron temperature kT_e and density n . The determination of this temperature is of good accuracy. However, the absolute plasma density can only be estimated. For relative density measurements the probe technique gives satisfactory results. With a large number of double probes the change of kT_e and n along the tube axis was measured at various values of pressure and magnetic induction.

The properties of the steady state plasma source were experimentally investigated. The results are described in chapter 8. The effect of the neutral gas pressure on the electron temperature in the centre of the plasma source is in reasonable agreement with that calculated with aid of the data of D.J. Rose on the ionization coefficients of molecular hydrogen. The influence of the magnetic field on the temperature is determined. The temperatures at high magnetic fields seem to be somewhat higher than expected from the classical diffusion theory. This might point to an enhanced loss of particles to the walls of the discharge tube.

Chapter 9 deals with the measurements of the axial decay length of the steady state plasma in the region of the discharge tube where the temperature of the electrons is sufficiently low to make ionization negligible. At low fields, the change of the decay length with the magnetic field is in accordance with the classical diffusion theory, while at higher fields this length does not increase further with increasing field. Deviation from the classical behaviour occurs at a value of the magnetic induction, which increases with pressure. Evidently an anomalous loss process is responsible for this

phenomenon. The decay length in the range of magnetic fields, where the behaviour of the plasma is anomalous, is inversely proportional to the square root of the pressure, which is in agreement with the theory of the strongly turbulent plasma subject to ion acoustic instability.

In chapter 10 the results of the measurements on fluctuations in the plasma are described. The pressure dependence of the "critical" magnetic field where instability sets in, as well as the spectrum of the fluctuations are also in agreement with the mechanism of an inhomogeneous plasma subject to ion acoustic instability. At the critical field low frequency oscillations appear, at higher fields these oscillations disappear in strong random fluctuations.

Chapter 11 summarizes the conclusions based on the measurements. Several instability theories are discussed. It appears that the ion sound instability theory provides the most acceptable explanation of the experimental results. Finally a comparison with other experiments is given.

SAMENVATTING

Deze dissertatie beschrijft een onderzoek van de klassieke en anomale diffusie van een zwak geïoniseerd waterstofplasma, dat aan één einde van een lange buis wordt gecreëerd met behulp van een hoogfrequente gasontlading. Dit plasma strekt zich bovendien uit buiten de bron in de richting van een axiaal aangelegd magnetisch veld. De afname van de plasmadichtheid in axiale richting wordt beschreven door een uitsterflengte, die een analoon vormt van de uitsterftijd, bekend uit de metingen aan een desintegrerend plasma. In de experimenten werd een drukgebied van 0.02 tot 0.07 Torr onderzocht bij inducties tot $25 \times 10^{-3} \text{ Wb m}^{-2}$.

In hoofdstuk 2 wordt de theorie van het ruimtelijk uitstervend plasma gegeven, waarbij wordt uitgegaan van de klassieke botsingsdiffusie-theorie. Hierin worden de transportprocessen van het plasma beheerst door elastische botsingen van de geladen met de neutrale deeltjes. Zowel een stationair als een tijdafankelijk plasma wordt beschouwd. De uitsterflengte is evenredig met de wortel uit de verhouding van de ambipolaire diffusiecoëfficiënten in axiale en radiële richting. Hierdoor kan het probleem aangaande de wijze, waarop de transversale diffusie afhangt van het magnetische veld, worden bestudeerd door middel van metingen aan de axiale uitsterflengte.

Hoofdstuk 3 beschrijft de invloed van een axiale temperatuurgradiënt op de dichtheidsafname van een stationair plasma. Aangetoond wordt, dat deze invloed kan worden verwaarloosd voor betrekkelijk kleine verhoudingen van de longitudinale en transversale diffusiecoëfficiënten.

De invloed van het verlies van ladingsdragers ten gevolge van aanhechting en volumerecombinatie op de uitsterflengte wordt behandeld in hoofdstuk 4. In onze experimenten kunnen deze invloeden worden verwaarloosd. Diffusie van de geladen deeltjes, gevolgd door recombinatie aan de wand, blijkt het belangrijkste verliesproces te zijn. Ionisatie van neutrale deeltjes in het gebied van afnemende plasmadichtheid zou de metingen kunnen verstoren. Er wordt aangetoond, dat productie van geladen deeltjes veel geringer is dan verlies ten gevolge van diffusie, indien de electronentemperatuur tenminste één à twee electronvolt lager is dan in de plasmabron. Deze temperaturen zijn berekend met behulp van de literatuurwaarden van de ionisatiefrequentie.

Hoofdstuk 5 behandelt de instabiliteit van een zwak geïoni-

seerd inhomogeen plasma in een magnetisch veld. Aange-
toond wordt, dat de drift-instabiliteit en de akoestische in-
stabiliteit aanwezig kunnen zijn in de plasmabron en in het
uitstervende plasma. Een interessante eigenschap van dit
uitstervende plasma is, dat een schroefvormige instabiliteit
van de plasmakolom kan optreden bij sterke magnetische
velden, op analoge wijze als dit bij de positieve zuil van
een glimontlading het geval is. Een fysische verklaring van
deze instabiliteit wordt gegeven. Evenwel zullen de andere
instabiliteits-mechanismen, samenhangend met de transver-
sale inhomogeniteit van het plasma, het optreden van de
schroefinstabiliteit waarschijnlijk maskeren. In hetzelfde
hoofdstuk wordt een schatting gemaakt van de grootte van
de anormale diffusiecoëfficiënten, onder aanname van het op-
treden van verschillende instabiliteits-mechanismen.

De experimentele opstelling en de constructie van de
plasmabron worden beschreven in hoofdstuk 6. De pyrex
ontladingsbuis is 2 m lang en heeft een diameter van 0.05
m. De invloed van een mogelijke afwijking van de "normale"
radiële plasmaverdeling in de bron op het voorkomen van
hogere orde diffusieverdelingen in het gebied buiten de bron
wordt besproken.

In het volgende hoofdstuk wordt een nieuwe methode be-
schreven voor de uitwerking van de karakteristieken van
dubbele sonden. Deze worden automatisch geregistreerd op
ponsband, waarna de gegevens door een Telefunken TR4
rekenmachine worden verwerkt. Deze machine berekent zo-
wel de electronentemperatuur als de dichtheid. De bepaling
van deze temperatuur is vrij nauwkeurig, die van de dicht-
heid is echter zodanig, dat slechts een schatting van de
absolute dichtheid kan worden verkregen. De sondentechniek
kan evenwel bevredigend worden toegepast voor relatieve
dichtheidsmetingen. Met een groot aantal dubbele sonden
is de verdeling van de electronentemperatuur en dichtheid
langs de as gemeten bij verschillende drukken en magnetische
velden.

De experimenteel bepaalde eigenschappen van de stationaire
plasmabron zijn beschreven in hoofdstuk 8. De invloed van
de druk van het neutrale gas op de electronentemperatuur
in het midden van de plasmabron komt redelijk overeen
met die, welke is berekend uit de gegevens van D. J. Rose,
betreffende de ionisatiecoëfficiënten van moleculaire water-
stof. De temperatuur in de plasmabron bij sterke magneti-
sche velden schijnt iets hoger te zijn dan zou kunnen wor-
den verwacht volgens de klassieke diffusie-theorie, hetgeen
zou kunnen wijzen op een anomaal verlies van deeltjes naar
de wanden van het ontladingsvat.

Hoofdstuk 9 behandelt de metingen van de axiale uitsterflengte in het gebied van de ontladingsbuis waar de temperatuur van de electronen voldoende laag is om ionisatieprocessen te kunnen verwaarlozen. De verandering van de uitsterflengte met het magnetische veld is in overeenstemming met de klassieke diffusietheorie voor zwakke velden, terwijl deze lengte bij sterke velden niet meer toeneemt met het veld. Afwijking van het klassieke gedrag begint bij een waarde van de magnetische inductie, die toeneemt met de druk van het neutrale gas. Het is duidelijk dat een anomaal verliesproces bij sterkere magnetische velden verantwoordelijk moet zijn voor dit verschijnsel. De uitsterflengte bij de magnetische velden, waar het gedrag van het plasma anomaal is, blijkt omgekeerd evenredig te zijn met de wortel uit de druk, hetgeen in overeenstemming is met de theorie van een sterk turbulent plasma, onderworpen aan de akoestische instabiliteit.

In hoofdstuk 10 zijn de resultaten van de metingen aan fluctuaties in het plasma vermeld. Instabiliteit van het plasma ontstaat bij een kritische waarde van het magnetisch veld, die afhankelijk is van de druk van het neutrale gas. Bij dit kritische veld treden laagfrequente oscillaties op, die bij sterkere velden verdwijnen in de ruissignalen van het plasma. Zowel de aard van de drukafhankelijkheid van het kritische veld als het spectrum van de fluctuaties is in overeenstemming met de theorie, waarbij akoestische golven in azimuthale richting ontstaan, indien een axiaal magnetisch veld is aangelegd in een radieel inhomogeen plasma.

Hoofdstuk 11 geeft een samenvatting van de conclusies die zijn te trekken uit de metingen. Verscheidene theorieën aangaande de instabiliteit van plasmas worden besproken, waarbij blijkt, dat de theorie van de akoestische instabiliteit de meest aanvaardbare verklaring geeft van de experimentele resultaten. Tenslotte worden de resultaten van het onderzoek vergeleken met die van andere experimenten.

3636
1966